

OSHRI : Practice

01. IoT를 활용한 달비계 작업 안전 기술 개선 연구

02. 안전성과 현장 적용성을 개선한 이동식 비계 개발

OSHRI:Practice는 산업안전보건연구원이 연구사업을 통해 실제 정책반영,
지침개발, 제품생산 등 실용화된 사례를 소개합니다.

01

IoT를 활용한 달비계 작업 안전 기술 개선 연구

신규 개발 추락방지대 | 소재 변경 및 부품 간의 기능 통합, 제품 구조의 최적화 설계를 통해 기존의 제품 대비 50% 이상 경량화를 이뤘다. 또한 추락방지대에 부착된 QR코드(Quick Response code)를 작업자가 스마트폰(App)으로 촬영, One Pass로 연동(작업자의 기본정보 인식 및 관리시스템에 등록)시키면 추락방지대 착용 여부 및 체결 잘못(역방향) 등의 상태 확인이 가능하도록 IoT(사물인터넷) 기술을 접목하였다. 더불어 현장 작업자별 추락방지대 체결 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 안전관리 통합시스템도 개발하였다. 추락방지대에 접목된 IoT 모듈은 배터리 및 제품 교체가 용이하며, 범용성을 가진 것이 특징이다.



연구책임자
유성수 팀장 | (주)엔키아

연구상대역
강성윤 과장 | 산업안전보건연구원 산업안전연구실
052-703-0852 | sungyun81@kosha.or.kr



유성수 팀장



강성윤 과장

I. 배경

달비계(Boatswain's Chair)는 건물외벽 도장, 유지·보수 등의 작업을 위한 목적으로 주로 사용되며 이동설치가 가능한 비계시스템이다. 현장에서는 로프에 작업의자를 부착하는 작업의자형 달비계(일명 '젠다이')가 사용되고 있는데, 사고사망자의 대부분이 당해 달비계에서 발생한 것으로 파악되었다.

최근 10년간(2011년~2020년) 달비계에서 떨어진 사고사망자는 155명으로 주요 발생원인은 작업로프 풀림(36%), 불안정한 행동(25%), 작업로프 끊어짐(22%), 고정점 결손(12%) 순으로 분석되었다. 이는 수직구명줄 미설치가 떨어진 사고사망으로 직결될 수 있음을 알 수 있는 대목이다.

실제로, 사고사망자 155명 중, 151명(97.4%)이 수직구명줄을 미설치한 상태였다. 실태조사에서는 달비계 작업자가 수직구명줄을 사용하지 않는 이유가 추락방지대 사용의 불편함 때문인 것으로 파악되었다. 이에, 추락방지대 착용의 불편함 해소 및 착용율을 높임으로써 달비계 사용 작업자의 안전성을 확보하기 위한 설비 또는 장치의 개선 연구가 필요하였다.

II. 실용화 내용

달비계 사고사망 분석 및 설문조사

달비계 관련 사고사망을 분석한 결과 수직구명줄 미설치로 인한 사망자 비율(97.4%)이 매우 높은 것으로 나타났다. 현장 실태조사에서 추락방지대의 중요성은 달비계 작업자의 대부분이 인지하고 있었으나 사용상의 불편함과 작업 효율성이 떨어진다는 이유로, 또는 단순히 귀찮아서 추락방지대를 착용하지 않는 것으로 파악되었다.

추락방지대에 대한 인식이 부족한 작업자와 추락방지대 미착용 작업자의 비율이 비슷한 것으로 보아, 추락방지대에 대한 인식 개선과 함께 착용 여부를 확인 하는 것이 필요하다고 판단하였다. 소규모 공사현장의 경우 관리감독자가 달비계 작업자의 추락방지대 체결 유·무의 확인 가능하나 규모가 큰 현장에서는 관리감독자가 일일이 확인하지 않거나 못하는 것이 현실이다. 이에, IoT 기술을 접목하여 관리감독자가 한 눈에 추락방지대의 체결 유·무를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 시스템을 구축하고자 하였다.

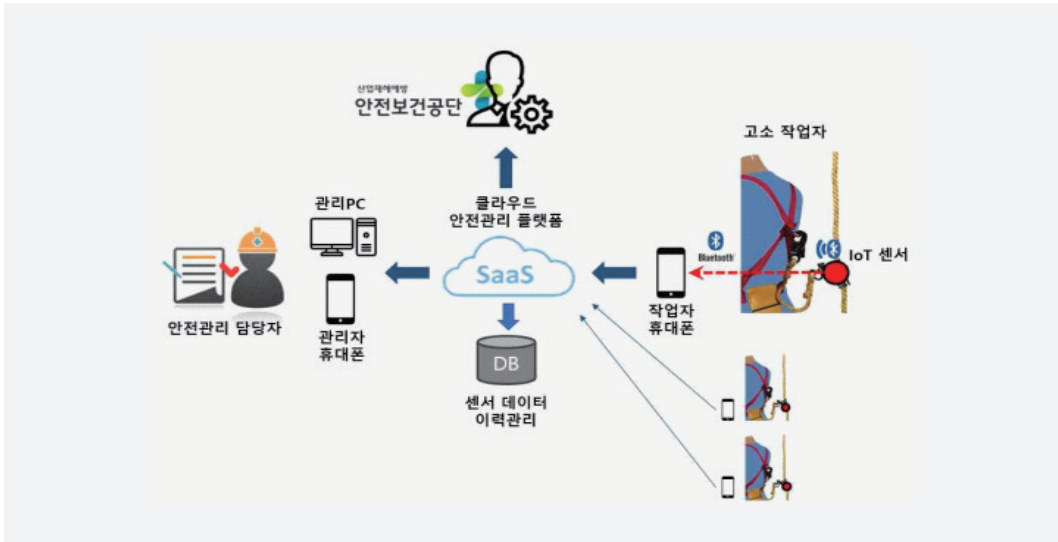
또한, 추락방지대의 체결 방향은 제동력과 직접적으로 연관이 되어 있기 때문에 올바른 체결 방향의 확인이 매우 중요하다. 추락방지대에 방향성을 나타내는 표시가 있기는 하지만, 페인트나 각종 이물로 인하여 육안으로 확인할 수 없는 경우가 많다. 작업자의 역방향 체결을 방지하기 위해 IoT 센서를 적용하여 관리감독자가 사무실에서 추락방지대를 올바르게 체결하였는지 확인이 가능하다.

IoT(사물인터넷) 기반 추락방지대 제품 개발 및 검증

현장조사 및 설문조사를 통해 수렴한 의견을 바탕으로 추락방지대의 경량화 및 체결 유·무 확인을 위한 IoT 기술을 접목한 추락방지대를 개발하였고, 주요 특징은 다음과 같다.

명칭

IoT를 활용한 추락방지대 체결 상태 실시간 모니터링 시스템



[그림1] 실시간 모니터링 시스템 개념도

구성

전원	원	동전형 배터리 교체 방식으로 3~6개월 사용 가능
방수	수	케이스 외곽에 홈을 파고 방수 실리콘을 삽입하여 방수 처리
덮개	개	부식방지와 강도 확보를 위해 스테인리스 적용
렌즈	즈	근접센서 보호를 위한 투명 플라스틱 렌즈 삽입
센싱 방식	식	수직구멍줄 체결 여부를 근접센서로 확인
연결 방식	식	QR코드 활용, 간편하게 작업자 휴대폰과 연결
데이터 전송 방식		작업자 휴대폰과 BLE 통신
설치 방향 확인		틸트 센서를 이용하여 추락방지대의 역방향 설치 인지 및 경고음 발생



[그림2] 추락방지대 센서 부착 모습

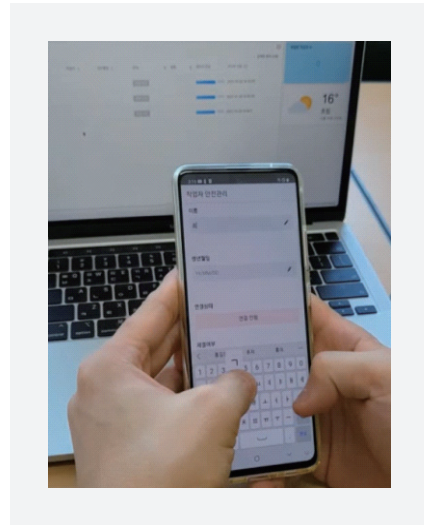
주요 특징

- ① 추락방지대의 재질 등 개선을 통해 경량화
* 알루미늄 소재로 기존 제품 대비 중량 약 50% 감소(820g → 405g)
- ② 추락방지대 내부에 수직구명줄 인식을 위한 점점 센서와 역방향 체결 방지용 자이로센서 적용
- ③ QR코드를 이용하여 작업자의 휴대폰과 블루투스 연결(Pairing), 최대 6개월간 운용 가능한 배터리 적용
- ④ 작업자와 관리자 전용 앱을 개발하였으며, 직관적이고 단순한 UI(User Interface) 구성
- ⑤ 인터넷 홈페이지와 앱을 통해 추락방지대의 연결 현황 및 이력관리 가능
- ⑥ 작업자의 자발적인 안전작업 참여 유도를 위해 안전마일리지(인센티브 등) 부여 알고리즘 적용





[그림5] 관리자 통합 모니터링 시스템



[그림6] 전용 앱과 홈페이지 실시간 연결 모습

참고문헌

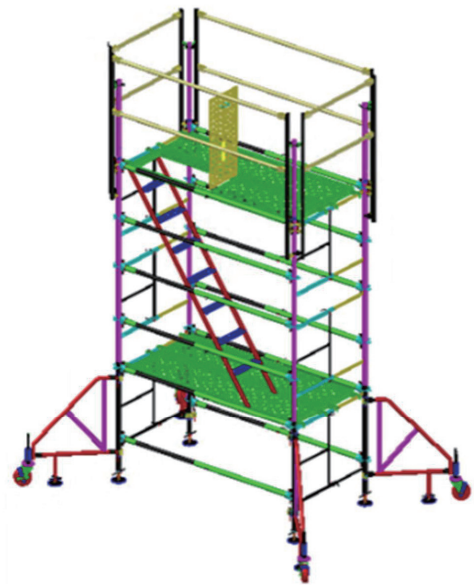
- 유성수, 정민기, 김선용, 달비계 작업안전 기술 개선 연구. 산업안전보건연구원. 2021.
- 정성춘, 달비계 작업의 안전성 향상 방안 연구. 산업안전보건연구원. 2018.

본 연구과제는 (주)엔키아(연구책임자 유성수 팀장)에서
수행한 연구과제를 요약·정리하였습니다.

02

안전성과 현장 적용성을 개선한 이동식 비계 개발

최근 10년간(2011~2020년) 건설업의 중대재해 분석 결과 이동식 비계에서 117명의 사망자가 발생한 것으로 나타났다. 이러한 재해를 예방하기 위해서는 안전시설(안전난간 등)을 적기에 설치해야 하지만 사용상의 불편함, 작업위치의 기존 설비와 간섭 등의 이유로 안전시설을 설치하지 않거나, 지연 설치로 재해가 지속적으로 발생하고 있다. 이에 따라 건설현장에서 사용하는 이동식 비계의 안전성 확보와 현장 적용성 개선을 위해 이동식 비계 관련 중대재해의 심층 분석과 건설현장 실태조사 결과를 토대로 전문가 의견을 반영하여 이동식 비계의 개선 모델을 제시하였다. 개선 모델에 대한 구조해석과 실물실험을 실시한 결과 모든 부재는 현행 방호장치 안전인증 고시의 성능기준을 만족하는 것으로 평가되었다. 개선된 기술은 ① 가변형 다단 주틀 ② 바퀴와 잭베이스 부착형 아웃트리거 ③ 이동식 비계용 선행안전난간대 ④ 분리형 가설계단 이며, 이 기술을 적용한 이동식 비계는 2021.12.10. 특허 출원되었다. 향후 이 기술을 적용한 이동식 비계가 건설현장에 보급될 경우 이동식 비계 관련 작업 시 떨어짐 및 뒤집힘 재해예방에 크게 기여할 것으로 기대된다.



연구책임자

박주동 연구위원 | 산업안전보건연구원 산업안전연구실
052-703-0844 | likeaceo99@kosha.or.kr

공동 연구자

강성윤 과장 | 산업안전보건연구원 산업안전연구실
052-703-0852 | sungyun81@kosha.or.kr

공동 연구자

이동규 교수 | 세종대학교 건축공학과



박주동 연구위원



강성윤 과장



이동규 교수

I. 배경

국내 사고사망자의 50% 이상을 차지하는 건설업의 산업재해 예방을 위해 정부에서는 다양한 제도개선과 지도·점검 및 기술적 대안에 관한 연구를 추진하였으나, 건설업의 사망재해는 증감을 반복하고 있다. 최근 5년간(2016~2020년, 현황통계 기준) 건설현장에서 떨어짐사고로 사망한 노동자는 1,348명이며, 전체 건설현장 사고사망자의 56.7%(2,376명)를 차지하였다. 건설현장의 낮은 높이용 작업발판으로 이동식 비계와 말비계를 사용하고 있으며, 단순 작업 용도로 이동식 사다리(A형 등)도 많이 사용하고 있는 실정이다. 최근 5년 간 건설현장의 이동식 비계(일명 이동식 BT틀비계)에서 연평균 10명의 사고성 사망자가 발생하였다. 이는 이동식 비계 등 낮은 높이용 작업발판에서 작업 시 안전기준을 준수하지 않거나, 실제로 준수하기가 어려운 것으로 알려지고 있다.

이동식 비계의 재해예방을 위해서는 안전기준에 맞게 안전난간 등의 안전시설을 적기에 설치·사용하는 것이 안전하나, 안전난간 미설치 사례가 빈번하며, 설치·운반의 불편 등으로 이동식 비계 대신 이동식 사다리나 말비계를 사용한 작업 중 떨어짐 재해가 지속적으로 발생하고 있다. 따라서 건설현장의 이동식 비계 관련 재해예방을 위해 중대재해 심층분석과 실태조사 결과를 토대로 안전성과 현장 적용성을 개선한 이동식 비계를 개발하고자 하였다.

II. 실용화 내용

이동식 비계 일반 사항

이동식 비계는 “타워형태로 조립한 틀조립 구조의 최상층에 작업발판과 표준 안전난간을 설치하고, 각주 밑 부분에 바퀴를 부착한 구조의 비계” 또는 “이동식 비계용 주틀의 하단에 발바퀴를 부착하여 이동할 수 있도록 조립한 비계”를 말한다(최상복, 2004; 고용노동부·안전보건공단, 2019; KOSHA GUIDE, 2018).

이러한 이동식 비계는 사용 높이에 따라 주틀을 조립하여 사용할 수 있고, 각주 하부에 바퀴를 설치하는 경우 적은 인원으로 쉽게 이동이 가능하며, 주로 철근 배근, 거푸집 설치 등 구조물 공사와 실내 천장, 벽 등의 마무리 작업에 사용된다. 이동식 비계는 가설구조물 중 하나로 주틀,

발바퀴, 난간틀, 아웃트리거(전도방지장치) 등으로 구성되며, 현장에서 개별 부재를 조립하여 설치·사용한다. 실제 건설현장에 설치된 이동식 비계는 [그림1]과 같다.



[그림1] 이동식 비계 설치(예)

출처 | 고용노동부·안전보건공단, 2019

이동식 비계의 중대재해 및 실태조사 분석

(1) 중대재해 분석 개요

최근 10년간(2011년~2020년, 재해조사일 기준)의 건설업 중대재해 조사대상 사고사망자는 총 4,524명으로 [표1]과 같다. 이동식 비계 관련 사고사망자는 2.6%(117명)를 점유한 것으로 나타났다.

[표1] 최근 10년간(2011~2020년) 건설업 사고사망자 현황(중대재해 조사기준)

(단위 : 명, %)

구분	건설업 전체	이동식 비계(점유율)
합계	4,524	117(2.6)
2011	495	16(3.2)
2012	503	12(2.4)
2013	492	11(2.2)
2014	381	10(2.6)
2015	445	10(2.2)
2016	504	7(1.4)
2017	465	11(2.4)
2018	421	14(3.3)
2019	417	17(4.1)
2020	401	9(2.2)

(2) 이동식 비계 사고사망자 분석 결과

이동식 비계에서 발생한 사고사망자 중 발생형태에 대한 분석 결과 [표2]와 같이 떨어짐 88.0%(103명), 뒤집힘 10.3%(12명), 무너짐 1.7%(2명) 순으로 발생한 것으로 분석되었다.

[표2] 발생형태별 현황

(단위 : 명, %)

구분	사고사망자	점유율
합계	117	100
떨어짐	103	88.0
뒤집힘	12	10.3
무너짐	2	1.7

이동식 비계에서 발생한 떨어짐 재해의 주요 원인별(기인물) 상세 분석 결과, [표3]과 같이 안전난간(73.8%, 76명), 승강설비 중 사다리(23.3%, 24명), 작업발판(2.9%, 3명) 순으로 나타났다. 현행 이동식 비계는 규격화 된 주틀을 사용하고 있으며, 주틀의 수평재를 사다리로 이용하거나, 별도의 사다리를 승강설비로 사용하고 있다. 또한, 작업발판 상부에 설비나, 구조물의 간섭으로 안전난간을 설치할 수 없는 경우에 떨어짐 위험이 있는 것으로 분석되었다.

[표3] 떨어짐 재해 원인별 현황

(단위 : 명, %)

구분		사고사망자	점유율
합계		103	100
안전난간 (73.8%)	미설치	62	60.2
	미흡	14	13.6
승강설비 (23.3%)	계단	0	0.0
	사다리	24	23.3
작업발판 (2.9%)	미설치	1	1.0
	미흡	2	1.9

이동식 비계의 뒤집힘, 무너짐에 의한 사망자는 총 14명으로 원인별 상세분석 결과 [표4]와 같다. 이동식 비계 뒤집힘의 공통원인은 아웃트리거 미설치 또는 미흡이며, 상세 원인으로는 불시 이동 21.4%(3명), 발판 위 사다리 사용 14.3%(2명), 해체 중 불균형 모멘트, 경사지 이동, 수평이동, 지반 단차, 외부요인(충격), 난간에 기대어 작업, 중량물 운반의 원인으로 각각 1명이 발생하였다. 이동식 비계 무너짐의 주요 원인은 주틀 교차가새 불량 및 외부요인(주위에서 해체되는 구조물의 충격)에 의해 발생한 것으로 분석되었다. 이동식 비계의 뒤집힘 및 무너짐 재해를 예방하기 위해서 아웃트리거 등의 설치가 용이하고 제 기능을 할 수 있도록 연구개발이 필요하다.

[표4] 뒤집힘·무너짐 재해 원인별 현황

(단위 : 명, %)

구분		사고사망자	점유율
합계		14	100
뒤집힘	불시 이동(2~4단)	3	21.4
	발판 위 사다리 사용(2단)	2	14.3
	해체 중 불균형 모멘트(4단)	1	7.1
	경사지 이동(3단)	1	7.1
	수평 이동(3단)	1	7.1
	지반 단차(2단)	1	7.1
	외부요인(충격)(2단)	1	7.1
	난간 기대어 작업(1단)	1	7.1
	중량물 운반(1단)	1	7.1
	교차 가새 불량(1단)	1	7.1
무너짐	외부요인(충격)(1단)	1	7.1

(3) 실태조사 분석 결과

이동식 비계의 이해관계자 인터뷰(28명) 및 설문조사(280명) 결과, 이동식 비계의 떨어진 재해 예방을 위해 우선적으로 개선해야 할 사항은 1) 좁은 장소에서도 작업이 가능하도록 개선 2) 안전난간을 미리 설치할 수 있는 기술 적용 3) 승강은 주틀의 내부 계단이나 사다리를 사용할 수 있도록 개폐형 작업발판 적용 4) 일정 높이마다 작업발판을 설치할 수 있도록 개선 5) 이동식 비계의 사용 높이에 적합한 아웃트리거를 사용할 수 있도록 개선 6) 다양한 종류의 이동식 비계 개발·보급을 위해 국제적으로 인정되는 표준규격(EN 등)에 따라 설계 후 안전성이 검증되면 사용할 수 있도록 하는 등 개선이 필요한 것으로 분석되었다.

안전성과 현장 적용성을 개선한 이동식 비계 개발

(1) 개발 방향

이동식 비계의 중대재해 및 실태조사 분석 결과를 토대로 이동식 비계의 사용상 불편한 점과 작업 중 위험요인에 대한 개선 방안 및 이동식 비계와 관련된 이해관계자의 의견을 반영하여 편리하고 안전한 이동식 비계 개발을 위한 개발 방향은 다음과 같다.

- 이동식 비계의 안전성과 편리성 향상을 위해 인간공학적 설계와 구조 최적화 설계(현행 기준 범위 내)를 한다.
- 이동식 비계 작업발판 단부에 안전난간 설치·해체 시 떨어짐 위험이 있으므로 안전난간 선행공법(선행안전난간대)을 적용한다.
- 이동식 비계 승강 시 외측 사다리 이용 중 떨어짐 위험이 있으므로 내측 가설계단을 이용하거나, 내측 사다리를 사용할 수 있도록 작업발판은 덮개형으로 개선한다.
- 이동식 비계의 주틀 최소폭은 1.2m로 규격화되어, 좁은 문 통과와 좁은 공간에서 사용이 불가하므로 주틀은 길이 조절이 가능하도록 한다.
- 이동식 비계 주틀의 높이는 약 1.7m로 규격화되어, 현장별 다양한 높이에서 사용이 어려우므로 주틀의 높이를 1m 이하로 제작하여 다단으로 설치 가능하도록 한다.
- 이동식 비계의 전도 방지와 흔들림 최소화를 위해 주틀 하부에 잭베이스를 설치하고, 아웃트리거 외측에 발바퀴를 설치하여 이동 시에도 아웃트리거가 제 기능을 할 수 있도록 하며, 아웃트리거 바퀴 내측에 잭베이스를 추가 설치하여 작업 시 흔들림 최소화와 브레이크 기능을 할 수 있도록 한다.
- 건설현장은 설비작업 등 1인 작업이 많으므로 사다리와 말비계 보다 상대적으로 안전한 이동식 비계 사용을 원하지만 승용차로 운반이 어려우므로 승용차(SUV차량 등)로 운반이 가능하도록 긴 부재는 분리할 수 있거나, 길이 조절이 가능하도록 설계한다.

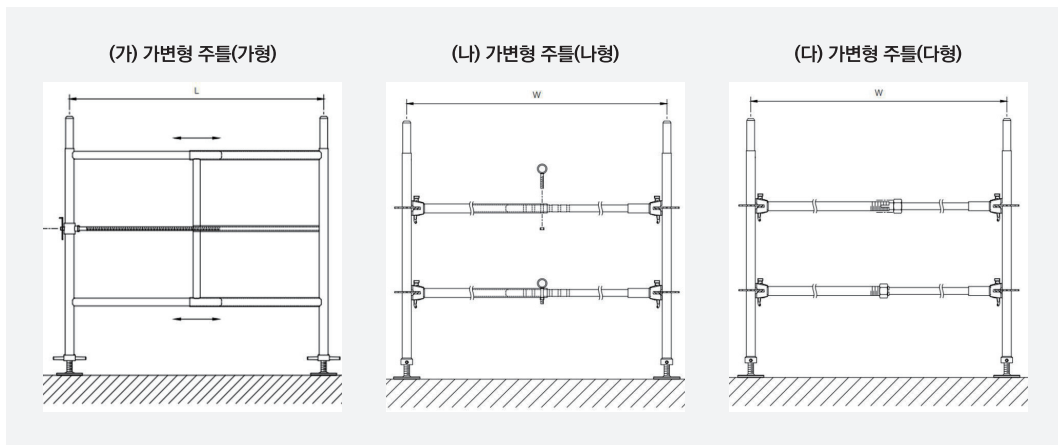
위와 같은 개발 방향에 따라 국내 및 해외에서 생산·유통되는 이동식 비계의 비교 분석 등을 통해 이동식 비계를 개발하였다.

(2) 이동식 비계 개선 모델

이동식 비계의 사용상 불편한 점과 작업 중 위험요인에 대한 개선방안 및 이동식 비계와 관련된 이해관계자의 의견을 반영한 편리하고 안전한 이동식 비계의 구성요소에 대한 개요도와 특징은 다음과 같다.

1) 가변형 다단 주틀

가변형 다단 주틀은 [그림2]의 (가)~(다)와 같이 주틀의 길이를 조절할 수 있는 가변형의 상부 주틀과 하부 주틀로 구성되며, 가변형 하부 주틀에 상부 주틀을 설치할 수 있도록 하였다. 가변형 주틀의 특징은 주틀의 폭을 조절할 수 있어, 좁은 공간 이동과 작업이 가능하므로 편리성 향상과 현장 적용성을 개선하였다.

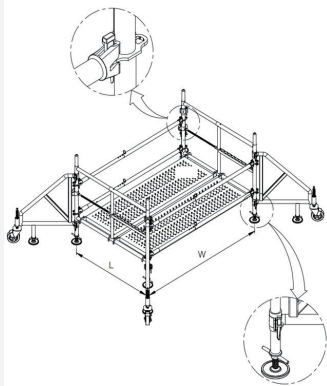


[그림2] 가변형 다단 주틀의 개념도

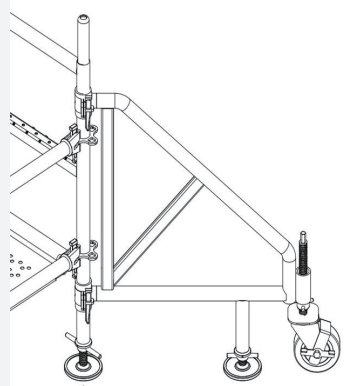
2) 바퀴와 잭베이스 부착형 아웃트리거

바퀴와 잭베이스 부착형 아웃트리거는 [그림3]과 같으며, 이동식 비계의 외력이나, 작업하중에 의한 흔들림 방지 등 외적 안정성 확보를 위해 주틀 하부에는 발바퀴 대신 잭베이스를 설치하였고, 이동식 비계 이동 시 전도방지 역할을 할 수 있도록 아웃트리거 외측에 발바퀴를 적용하였다.

(가) 이동식 비계에 적용한 개념도



(나) 상세도



[그림3] 바퀴와 잭베이스 부착형 아웃트리거

3) 이동식 비계용 선행안전난간대

이동식 비계용 선행안전난간대는 [그림4]와 같으며, 하부의 작업발판에서 상부 작업발판 단부에 안전난간을 미리 설치할 수 있도록 보조수직재를 설치하고, 설치된 보조수직재의 홈에 안전난간(2본)을 연결한 후 별도의 보조수직재 홈에 각각 연결하여 주틀 수직재의 플랜지에 체결하는 방식이다. 특징은 상부 작업발판으로 이동하기 전에 안전난간을 미리 설치할 수 있어, 떨어짐 재해를 예방할 수 있다. 안전보건공단에서 개발한 시스템 비계용 선행안전난간 설치 방법은 [그림5]와 같으며, 이를 이동식 비계에 응용하여 적용하였다.

(가) 선행안전난간대 설치 중



(나) 선행안전난간대 설치 완료



[그림4] 이동식 비계용 선행안전난간대 개념도

(1단계) 보조수직재(#1) 설치



(2단계) 수평안전난간(2단) 설치



(3단계) 보조수직재(#2) 연결후 설치

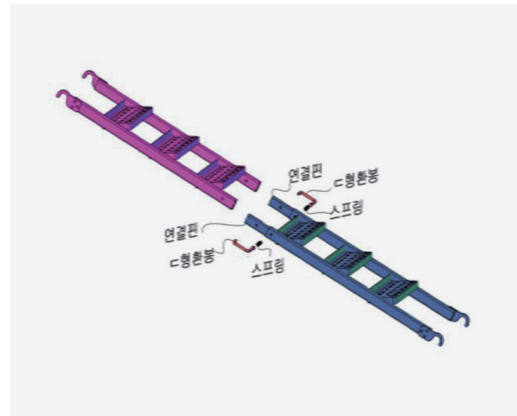


[그림5] 시스템비계의 선행안전난간대 설치 순서

출처 | 안전보건공단, 2021

4) 스프링 ㄷ형 환봉을 이용한 분리형 가설계단

스프링 ㄷ형 환봉을 이용한 분리형 가설계단은 [그림6]과 같으며, 상부 가설계단, 하부 가설계단, 연결핀, 스프링, ㄷ형 환봉으로 구성된다. 가설계단은 스프링형의 ㄷ형 환봉을 이용하여 쉽게 연결 및 분리가 가능하고, 운반과 취급이 용이하며, SUV 차량 등에 싣고 운반이 가능하다.



[그림6] 스프링 ㄷ형 환봉을 이용한 분리형 가설계단 개념도

(3) 개발한 이동식 비계의 구조안전성 평가

1) 현장 적용성 개선 모델 개요

이동식 비계의 중대재해 및 현장 실태조사 분석 결과를 토대로 선행안전난간을 적용한 이동식 비계를 개발하였다. 개선된 이동식 비계 모델에 대한 구조해석 결과 모든 부재는 구조안전성을 확보한 것으로 분석되었고, 시제품을 제작하여 부재별 실물실험을 통해 구조안전성을 검증하였다. 이에 따라 제작된 이동식 비계 시제품을 설치한 모습은 [그림7]과 같다.



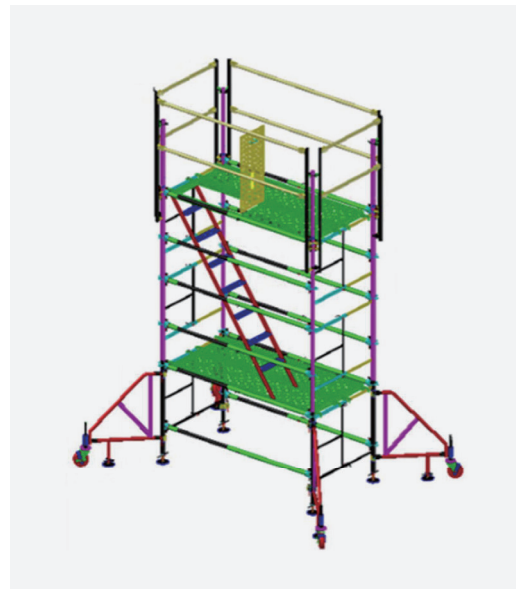
[그림7] 개선된 이동식 비계 설치 모습

2) 현장 적용성 개선 모델의 전문가 검토 결과

개선된 이동식 비계는 길이 조절이 가능한 주틀과 수평재를 적용하여 좁은 공간을 통과하거나 협소한 장소에서도 작업을 수행할 수 있어 기존의 이동식 비계보다 활용성이 높은 것으로 평가되었다. 또한, 아웃트리거에 바퀴가 부착되어 있어, 전도 위험성이 낮고, 선행안전난간대를 적용하여 떨어짐 위험을 근본적으로 개선한 것으로 평가되었다.

다만, 현행 방호장치 안전인증 고시의 기준에 따라 기존 이동식 비계와 규격이 유사하여 경량화에는 한계가 있으며, 현장 적용성 개선 모델 제안 시 현장의 여건을 고려하여 작업발판(400mm) 2열 설치가 가능하도록 하여 현장에서 보유하고 있는

작업발판을 활용할 수 있도록 개선이 필요하다는 의견이 있었다. 이에 따라 이동식 비계의 주틀 폭은 600~914mm, 수평재 길이는 1,524mm로 하였고, 전도 위험 시 주틀을 횡방향으로 추가 설치 하도록 하였으며, 이를 반영한 이동식 비계 설치 모델은 [그림8]과 같다(안전보건공단, 2021).



[그림8] 개선된 이동식 비계 모델 최종(안)
(600~914mm×1,524mm, 높이 약 3m)

3) 현장 적용성 개선 모델의 조립체 실험

현장 적용성 개선 모델의 구조안전성 확인을 위해 이동식 비계를 조립하여 2층(강성, 압축강도)의 실물실험을 실시하였다. 조립체 실물실험에 사용된 부재는 개별 실물실험을 통해 구조안전성이 확인된 제품을 사용하였다. 이동식 비계 조립체(914×1,524×3,000mm)는 하부 주틀 1단과 상부 주틀 2단을 조립하여 실물실험을 실시하였다.

① 조립체 강성실험

EN 규격에서 규정하고 있는 강성실험은 6m 높이의 조립체에 500N의 수평하중 적용 시 X방향과 Y방향의 누적 변위를 200mm로 규정하고 있다. 동 규정에서 타워형 비계(이동식 비계)의 높이와 변위의 관계식은 구조계산 및 실물실험 결과에 따라 선형공식을 적용할 수 있도록 하고 있다. 따라서 조립체의 실제 사용 높이를 고려하여 [그림9]와 같이 높이 3m의 조립체에 500N(≒50kgf)의 수평하중 적용 시 누적 허용변위는 선형관계식을 적용하여 100mm 이내로 설정하였고, X방향과 Y방향의 누적변위를 측정된 후 기준변위(높이 3m일 때 최대 변위 100mm)에 적합한지를 평가하였다.



[그림9] 이동식 비계 조립체 강성시험(X방향 및 Y방향)

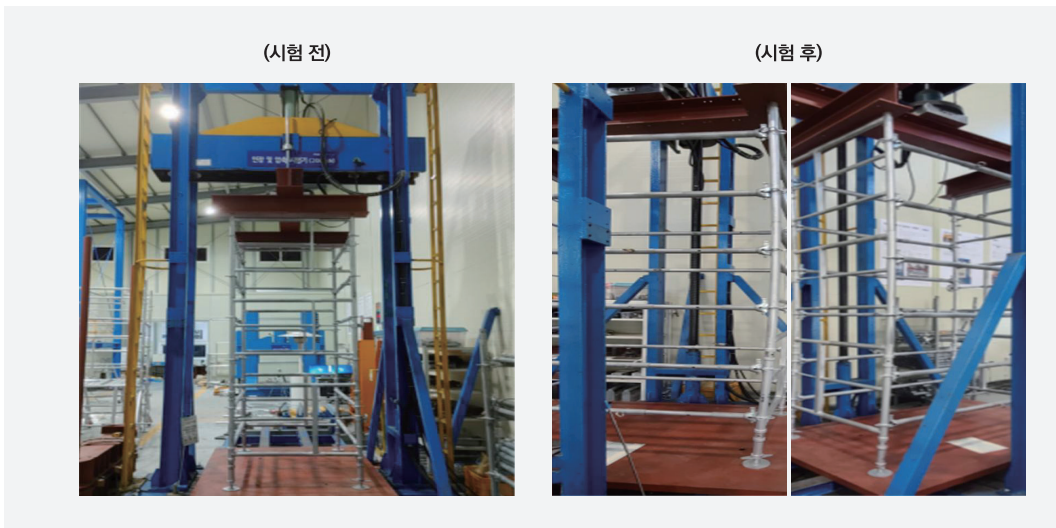
수평하중 500N을 적용하기 위해 섬유로프와 도르래 및 무게추(50kgf)를 사용하였으며, 변위측정은 수평변위계를 사용하였다. 이동식 비계의 강성시험 결과, X방향 변위는 26.70mm, Y방향 변위는 33.31mm로 측정되어, 누적변위는 60.01mm로 나타나 기준치 100mm의 60% 수준으로 기준에 적합한 것으로 평가되었다.

② 조립체 압축강도시험

이동식 비계의 개별 부재에 대한 최대압축하중에 대한 평가 결과 적정한 것으로 분석되었으나, 실제 건설현장에서 사용하는 조립체의 최대압축하중을 파악하여 현행 한국산업 표준과 방호장치 안전인증 고시에서 규정하고 있는 개별부재의 압축성능 수준을 분석할 필요가 있다.

이를 위해 이동식 비계의 조립체는 하부 주틀 1조와 상부 주틀 2조를 결합한 조립체(914×1,524×3,000mm)로 만들어 [그림10]과 같이 압축시험을 실시하였다. 시험결과 최대압축하중은 177kN으로 나타나, 이동식 비계의 설계하중 대비 압축성능이 과도한 것으로 분석되었다.

이는 개선된 이동식 비계 설계 시 KS규격과 방호장치 안전인증 고시에서 규정하고 있는 규격과 성능을 고려하여 제작되었기 때문이며, 이로 인해 경량화에는 한계가 있었다. 따라서 현행 부재별 안전인증 기준을 실제 사용조건에 맞도록 조립체에 대한 안전인증(성능 등) 기준으로 개정할 필요가 있다.



[그림10] 이동식 비계 조립체 압축강도시험

특허출원 및 기대효과

이동식 비계의 중대재해 분석, 현장 실태조사 및 구조안전성 검토 결과를 반영하여 개발한 『선행안전난간을 적용한 가변형 다단 이동식 비계』는 2021. 12. 10. 특허출원(출원번호 10-2021-0176381, 10-2021-0176383)되었으며, 향후 민간기업의 기술이전을 통해 건설현장에 보급할 예정이다. 이 기술을 적용한 이동식 비계가 건설현장에 보급될 경우 이동식 비계 관련 작업 시 떨어짐 및 뒤집힘 재해예방에 크게 기여할 것으로 기대된다. 또한 이동식 비계의 신기술 개발 및 안전보건기술지침(KOSHA GUIDE) 개정 시 참고자료로 활용될 것으로 예상된다.

참고문헌

- … 박주동 등, 건설현장 이동식 비계의 안전성과 현장 적용성 개선 연구. 산업안전보건연구원. 2021.
- … 한국산업안전보건공단, 특허출원 제10-2021-0176381(이동식 비계 구조물). 2021;서울:특허청.
- … 한국산업안전보건공단, 특허출원 제10-2021-0176383(이동식 비계 구조물). 2021;서울:특허청.
- … 한국산업안전보건공단, 특허출원 제10-2020-0132931(보조수직재 결합형 수평 선행안전난간대). 2020;서울:특허청.
- … 고용노동부, 방호장치 안전인증 고시(고용노동부 고시 제2021-22호). 고용노동부. 2021.
- … 고용노동부, 한국산업안전보건공단, 부산도시공사, 건설현장 비계작업안전 실무 안내서.
한국산업안전보건공단. 2019;pp.48-51.
- … 산업안전보건연구원, 이동식 사다리 안전작업기준 및 안전모델 제시에 관한 연구. 산업안전보건연구원. 2019.
- … 한국산업안전보건공단, KOSHA GUIDE C-28-2018(이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침).
한국산업안전보건공단. 2018.
- … 한국산업안전보건공단, 건설업 중대재해조사보고서. 한국산업안전보건공단. 2011-2020.